

Sistem Kendali Motor Induksi Berkinerja Tinggi dengan Unit Soft Starter dan Stall Detector Berbasis SIMULINK untuk Apparatus Laboratorium Mesin Listrik

By MUCHLAS

Sistem Kendali Motor Induksi Berkinerja Tinggi dengan Unit *Soft Starter* dan *Stall Detector* Berbasis SIMULINK untuk *Apparatus* Laboratorium Mesin Listrik

Muchlas⁵⁰Jurusan Teknik Elektro, Universitas Ahmad Dahlan, Yogyakarta
muchlas.te@uad.ac.id

Abstrak

Kajian ini bertujuan mengimplementasikan sistem kendali *soft-starter* untuk mereduksi lonjakan arus dan torsi pada saat transien, dan *stall detector* yang akan mematikan secara otomatis catu tegangan motor jika terjadi *stall* pada keadaan *steady-state*. Setelah melalui proses desain dan implementasi ke dalam model SIMULINK, sistem diujikan terhadap 8 (delapan) jenis motor induksi yakni jenis 215 HP, 150 HP, 100 HP, 50 HP, 20 HP, 10 HP, dan 5.4 HP. Data-data tentang karakteristik motor yang menunjukkan kinerja sistem kendali diperoleh melalui eksperimen simulatif dan dianalisis dengan membandingkannya terhadap kriteria teoritis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem kendali yang dikembangkan memiliki kinerja yang tinggi sehingga dapat digunakan sebagai *apparatus* laboratorium Mesin Listrik, ditunjukkan oleh kemampuannya dalam: (1) mereduksi secara signifikan lonjakan arus dan torsi *starting* yang dibangkitkan motor selama *start-up*; dan (2) mematikan secara otomatis catu daya ketika motor dalam keadaan *stall*. Selain itu, diperoleh pula informasi kecepatan *soft-start* berpengaruh terhadap perubahan rasio reduksi arus *starting*, semakin lambat catu *soft-start* yang diberikan, sistem kendali akan memberikan tingkat reduksi arus *starting* yang semakin tinggi.

Keywords: *apparatus laboratorium, sistem kendali berkinerja tinggi, motor induksi tiga fase, soft-starter, stall detector*

I. PENDAHULUAN

Motor induksi banyak digunakan dalam bidang industri, karena memiliki kelebihan-kelebihan yang tidak dimiliki oleh motor jenis lain seperti motor DC. Untuk daya yang sama, mesin ini harganya lebih murah, konstruksinya lebih kuat dan pemeliharaannya lebih mudah. Namun pada sisi lain, motor jenis induksi ini memiliki kelemahan fundamental yakni pada saat *start-up* membangkitkan lonjakan arus dan torsi yang dapat menimbulkan efek kedip mengganggu alat-alat listrik yang dipasang pada *power line* yang sama, dan dapat menimbulkan kerusakan pada belitan motor. Pada sisi lain, dalam keadaan *steady-state* motor induksi dapat mengalami *stall* yakni keadaan yang menunjukkan rotor berhenti berputar ketika sumbu menerima beban lebih, sementara catu tegangan masih terpasang sehingga dapat merusak belitan mesin jika *power supply* tidak segera dimatikan.

Saat ini memang telah banyak dilakukan kajian untuk memperbaiki kinerja motor induksi [1], [2], [3], [4], [5], namun studi tersebut masih terbatas pada pengendalian untuk *soft-start* yang memberi pengamanan motor di daerah transien saja, sedangkan kajian pengendalian yang mengintegrasikan pengamanan motor di daerah transien maupun *steady-state* dengan *stall detection* belum banyak disajikan. Melalui penerapan *soft-starter* dan *stall-detector* ke dalam sistem kendali dapat diperoleh motor induksi yang memberikan kinerja tinggi dengan harga yang lebih murah serta pemeliharaan yang lebih mudah.

Implementasi sistem kendali motor berkinerja tinggi yang mengandung unit *soft-starter* dan *stall-detector* ini pada level simulatif menggunakan SIMULINK sangat penting dan diperlukan agar diperoleh sebuah *tools* yang dapat digunakan secara aman untuk eksperimen pra implementasi maupun pembelajaran praktik pengendalian motor listrik AC di laboratorium.

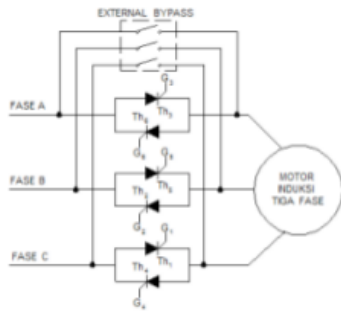
II. KAJIAN LITERATUR

A. Sistem Kendali *Soft Starter*

Sistem pengendali *soft-starter* dapat diimplementasikan menggunakan rangkaian pengendali tegangan dengan *thyristor* terpicu yang dipasang dalam konfigurasi anti-paralel [6], [7], [8]. Prinsip *soft-starter* adalah mereduksi arus dan torsi awal dengan cara melakukan pengaturan sudut pemicuan *thyristor* untuk memberikan tegangan sekecil-kecilnya saat motor melakukan *start-up*, namun tegangan tersebut mampu membangkitkan torsi yang dibutuhkan untuk mengatasi beban. Melalui cara ini, seiring turunnya *slip* atau naiknya kecepatan motor, arus stator dapat direduksi karena tegangannya kecil, dan saat *steady-state* setiap fase diubah koneksinya menjadi *direct-on-line supplied*.

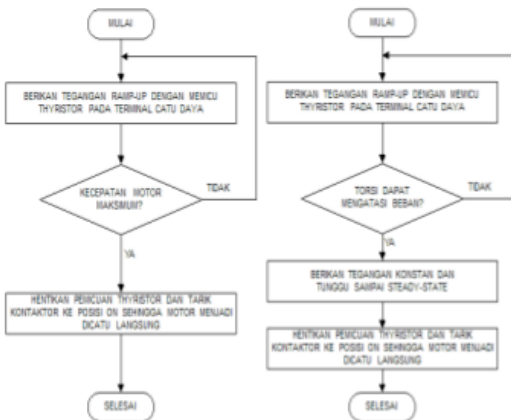
Sementara itu, perusahaan Eaton Corporation dan Rockwell Automation dalam publikasi yang diterbitkan untuk menyertai peluncuran produk-produknya, memberikan penjelasan bahwa reduksi *starting current* dan lonjakan torsi awal dapat dilakukan oleh *soft-starter* dengan memberikan tegangan dalam bentuk *ramp-up*, yakni tegangan yang nilainya berubah secara graduatif dari

kecil sampai nilai tertentu [7], [8]. Pemberian tegangan ini dilakukan oleh pengendali dengan melakukan perubahan pemicuan *thyristor* setiap setengah periode tegangan inputnya, sehingga sudut pemicuannya berubah semakin kecil yang menghasilkan tegangan *ramp-up* semakin besar selama *start-up* berlangsung. Setelah kecepatan motor maksimum tercapai, kontaktor *bypass* ditarik ON sehingga motor beroperasi menggunakan *direct-on-line supplied*, kondisi seperti ini menjadikan pekerjaan *thyristor* lebih efisien.



Gambar 1. Pengendali Tegangan *Soft-starter* Versi Eaton Corporation dan Rockwell Automation

Algoritma *soft-starter* yang digunakan untuk mendukung struktur perangkat keras pengendali pada Gambar 1, ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir Algoritma *Soft-Start*: (a) Kiri: Versi Eaton Corporation & Rockwell Automation, dan (b) Kanan: Versi Mohan, dkk.

Penelitian yang berhubungan dengan *soft-starter* pernah dilakukan oleh Nithin, dkk. pada 2013 yang menghasilkan *soft-starter* menggunakan pengendali tegangan dengan enam buah *thyristor* terpicu untuk mereduksi getaran torsi elektromagnetik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem yang dibangun tersebut

mampu mereduksi getaran torsi saat motor melakukan *start-up* [1]. Dalam penelitian tersebut tidak dideskripsikan secara eksplisit hasil minimalisasi getaran torsi dalam bentuk grafik karakteristik torsi. Pada tahun yang sama Rafeek, dkk. melakukan penelitian tentang sistem untuk mereduksi arus dan torsi motor saat *start-up*. Disain sistemnya merupakan model matematis dari pengontrol tegangan dengan enam buah *thyristor* terpicu yang diverifikasi dengan model SIMULINK dari MATLAB.

Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa pada tingkat simulatif, pengendali tegangan dengan *thyristor* terpicu oleh pulsa dengan *firing angle* gradual dari besar ke kecil, dapat mereduksi lonjakan arus dan torsi awal saat motor induksi tiga fase melakukan *start-up* [2]. Hasil kedua penelitian tersebut telah menguatkan pandangan bahwa *soft-starter* dapat dibangun menggunakan pengendali tegangan yang dipasangi *thyristor* dengan konfigurasi anti paralel pada setiap fasenya dan diberi sudut pemicuan secara graduatif dari besar ke kecil sehingga menghasilkan tegangan fase yang bersifat *ramp-up*.

Penelitian Ryu, dkk. pada 2016 menghasilkan sebuah sistem kendali *soft-starter* yang dapat mereduksi arus *starting* yang tinggi pada motor induksi besar yakni *blower*, kipas angin, pompa dan peralatan *crain*. Penelitian ini juga menggunakan pengendali tegangan yang dilengkapi dengan *thyristor* terpicu untuk mengendalikan *soft-starter* dan mengatur kecepatan motor. Hasil penelitian menunjukkan rangkaian pemicu *thyristor* telah dapat bekerja dengan baik dan dapat menghasilkan tegangan yang berubah dari nilai kecil ke nilai yang semakin besar sehingga motor dapat melakukan *start-up* dengan halus [9].

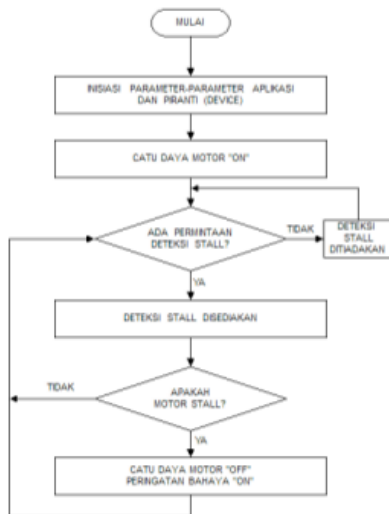
Relevan dengan hasil penelitian Ryu, dkk., penelitian Jun, dkk. pada 2016, telah mengembangkan sebuah strategi pengendalian *soft-starter* sehingga dapat memberikan hasil menurunnya arus *starting* saat motor melakukan *start-up* [10]. Sementara itu, Trivedi, dkk. pada 2017, juga telah berhasil menyimulasikan dengan SIMULINK rancangan *soft-starter* berbasis pengendali tegangan menggunakan *thyristor* terpicu. Hasil simulasinya menunjukkan bahwa dengan cara memberikan sudut picu secara graduatif pada *thyristor*, sistem menghasilkan tegangan yang bertambah secara graduatif pula sehingga memberikan efek *soft-starting* menurunkan arus awal dari 82 A menjadi 38 A pada motor induksi tiga fase [11].

Kedua hasil penelitian di atas yakni dari Jun, dkk. serta simulasi dari Trivedi, dkk. telah menambah kuatnya pandangan bahwa *soft-starter* untuk motor induksi tiga fase dapat dibangun menggunakan pengendali tegangan dengan *thyristor* sebagai komponen utamanya. Sedangkan dari aspek prosedurnya, semua penelitian terdahulu mengindikasikan bahwa penurunan arus *starting* dapat direduksi oleh *soft-starter* dengan cara memberikan tegangan catu dalam bentuk *ramp-up* yang dilakukan dengan memberikan sudut pemicuan awal tinggi, dan

secara graduatif digeser ke sudut pemecuan yang rendah hingga torsi elektromagnetik mampu mengatasi beban.

B. Sistem Kendali Stall Detector

Sistem kendali deteksi *stall* digunakan untuk mendeteksi munculnya keadaan *stall*, yakni motor dalam keadaan berhenti berputar karena bebannya berlebihan namun tegangan catu masih terpasang. Jika pada keadaan ini catu tegangan tidak segera dimatikan, kondisi *stall* dapat menyebabkan kerusakan pada belitan motor. Agar motor tetap aman, sistem kendalinya perlu dilengkapi dengan pendeteksi keadaan *stall* yang akan mendeteksi situasi *overloaded* dan unit *breaker* yang akan melakukan langkah-langkah cepat dalam memutus catu daya ketika motor kelebihan beban. Penjelasan tentang prinsip kerja detektor *stall* dapat ditemukan pada dokumen-dokumen yang dipublikasikan oleh perusahaan-perusahaan yang bergerak dalam bidang pengendalian motor cerdas. Menurut dokumen *Application Note AN2149* dari perusahaan *Freescale Semiconductor*, dijelaskan bahwa prinsip sistem kendali deteksi *stall* dapat digambarkan seperti pada diagram alir yang disajikan melalui Gambar 3 berikut ini [12].



Gambar 3. Diagram Alir Sistem Kendali Deteksi *Stall* pada Motor Listrik dari *Freescale Semiconductor, Inc.*

Berdasarkan Gambar 3 dapat diperoleh penjelasan bahwa pada sistem kendali deteksi *stall*, mula-mula dilakukan inisiasi parameter-parameter aplikasi, diteruskan dengan pemberian catu daya motor dan pengaktifan detektor. Jika terdeteksi adanya situasi *stall*, maka sistem kendali akan mematikan catu daya dan menghidupkan tanda peringatan bahaya. Sementara itu, dari dokumen *Application Note AN2650* yang diterbitkan oleh perusahaan *ST Microelectronics*, diperoleh informasi bahwa deteksi *stall* dapat dilakukan dengan menggunakan metode GGL (gaya gerak listrik) Lawan. Pada motor yang mengalami *stall*, oleh karena rotor berhenti berputar maka

belitannya tidak menimbulkan GGL Lawan. Ketiadaan GGL Lawan ini yang ditunjukkan oleh meningkatnya arus motor dapat digunakan sebagai indikator keadaan *stall*. Prinsip pendeteksian *stall* dilakukan dengan mendeteksi kenaikan arus motor yang terjadi selama mesin *running*, dan jika kenaikan arus mencapai batas ambang yang menunjukkan tidak adanya GGL Lawan, maka dianggap terjadi keadaan *stall*, selanjutnya dilakukan pemutusan terhadap arus fase yang mencatu motor [13].

Penggunaan GGL Lawan sebagai metode pendeteksian keadaan *stall* juga digunakan oleh perusahaan kontrol mesin listrik cerdas *ON Semiconductor*, yang penjelasannya disajikan melalui Gambar 4 berikut ini [14].



Gambar 4. Prinsip Pendeteksian *Stall* Menggunakan GGL Lawan dari *ON-Semiconductor*

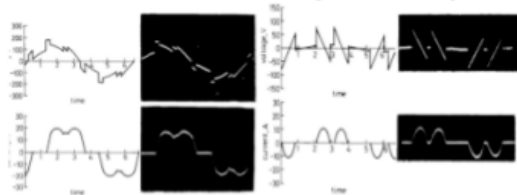
Metode pendeteksian *stall* pada Gambar 4 di atas menggunakan nilai batas ambang sebagai parameter pengendalian. Batas ambang merupakan nilai GGL Lawan yang dianggap menjadikan motor mengalami keadaan *stall*. Ketika terjadi pemblokiran pada motor, kecepatan putar rotor akan menurun secara drastis menyebabkan GGL Lawan juga menurun dan jika nilainya sampai pada batas ambang, pengendali akan menghentikan putaran motor dengan memutus arus catu daya. Pendeteksian GGL Lawan itu sendiri dapat dilakukan dengan berbagai metode, dan menurut Unsworth pemegang *patent* Amerika Serikat 1988 nomor 4767975, GGL Lawan yang berhubungan dengan keadaan *stall*, dapat diperkirakan nilainya saat mencapai batas ambang [15].

Salah satu penelitian terdahulu yang relevan dengan pengembangan detektor *stall* pernah dilakukan oleh para peneliti dari Universitas Pane India. Borse, dkk. pada 2015 telah mendesain sebuah sistem proteksi pada motor induksi tiga fase dengan menggunakan basis PLC. Melalui penelitian tersebut, telah ditemukan bahwa desain yang diajukan telah dapat bekerja dengan baik, dalam arti tidak hanya dapat mereduksi *starting current* saja saat motor melakukan *start-up*, namun sistem mampu membangkitkan torsi internal awal besar yang mampu mengatasi beban. Sistem yang dikembangkan juga telah mampu memonitor arus lebih, tegangan lebih, suhu lebih, kecepatan lebih, lonjakan dan vibrasi arus serta dapat mengatasi kesalahan-kesalahan yang terjadi selama operasi motor berlangsung [16].

Merujuk penelitian di atas, terlihat bahwa sistem proteksi dapat diimplementasikan dengan memasang unit pengukuran arus dan unit pengukuran tegangan. Dengan menghubungkan unit pengukuran tersebut ke bagian prosesor (dalam hal ini PLC), dapat dijalankan sebuah prosedur atau algoritma pengendalian untuk melindungi motor induksi. Dalam konteks pengembangan sistem proteksi motor dari keadaan *stall*, hasil penelitian para peneliti dari India ini memberikan inspirasi jika kondisi *stall* dapat diwakili oleh naiknya arus sampai batas ambang tertentu, maka pendeteksiannya dapat dilakukan dengan memasang unit trafo arus pada jalur fase tegangan input. Selanjutnya, jika arus yang terdeteksi oleh sensor arus telah mencapai batas ambang yang telah ditentukan, sistem dapat menggerakkan *relay driver* untuk memutus catu daya motor pada setiap fasenya.

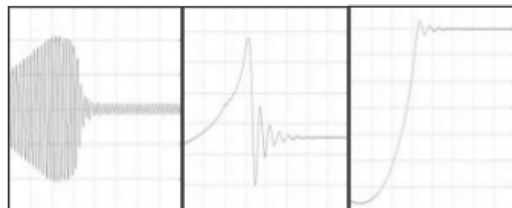
C. Kriteria Kinerja Sistem

Untuk mengukur kinerja pengendali tegangan dengan *thyristor* terpicu, dapat digunakan pembandingan bentuk gelombang arus dan motor hasil penelitian Hamed dan Chalmers seperti ditunjukkan pada Gambar 5 berikut ini.



Gambar 5. Bentuk Gelombang Tegangan dan Arus Motor Induksi Tiga Fase dari Hamed dan Chalmers [17]

Jika sistem yang dikembangkan dapat menghasilkan bentuk gelombang arus dan tegangan sesuai dengan hasil analisis teoritik Hamed dan Chalmers maka sistem dinyatakan telah dapat bekerja dengan baik. Sementara itu, untuk mengukur kinerja sistem kendali *soft-starter*, dapat digunakan pembandingan karakteristik arus stator, torsi elektromagnetik dan kecepatan seperti ditunjukkan pada Gambar 6 [1], [2], [10], [11], [18].

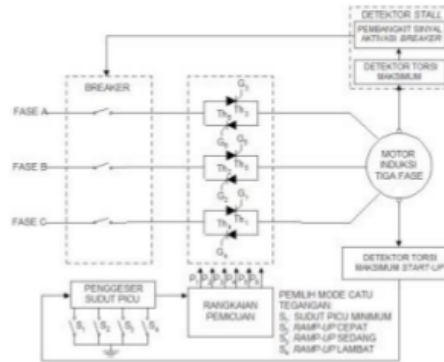


Gambar 6. Bentuk Gelombang Hasil Penelitian Terdahulu Pada Sistem Kendali *Soft-start*, dari Kiri ke Kanan: Karakteristik Arus, Torsi dan Kecepatan Putar Dalam Fungsi Waktu

D. Sistem yang Dikembangkan

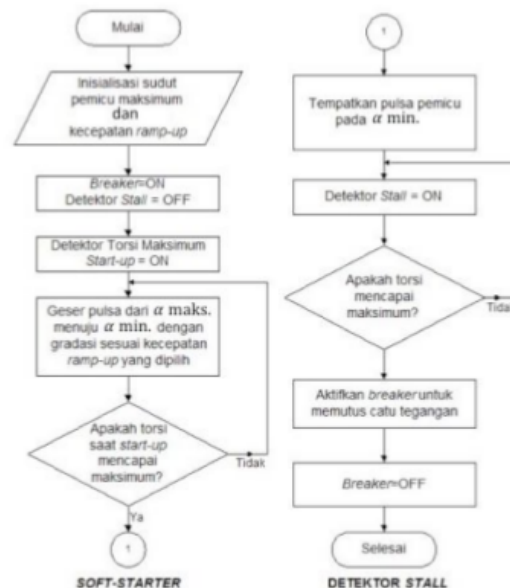
Desain-desain dari referensi [1], [2], [6], [7], [8], [9], [10], [11] telah menjadi sumber inspirasi pengembangan unit *soft-starter* yang menjadi bagian dari sistem kendali

berkinerja tinggi yang dikembangkan dalam penelitian ini. Sementara itu, rancangan pengendali dari referensi [12], [13], [14], [15], [16], [18] telah menjadi sumber ide pengembangan unit *stall detector*. Berdasarkan sumber-sumber yang telah digali tersebut, dapat digambarkan rancangan perangkat keras dari sistem kendali yang dikembangkan pada penelitian ini seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Arsitektur Perangkat Keras Sistem Kendali Motor Berkinerja Tinggi

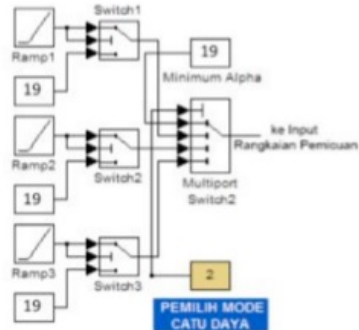
Berdasarkan eksplorasi pustaka, selain dapat dikembangkan arsitektur perangkat keras seperti Gambar 7 [38] atas, dapat pula dirancang algoritma pengendalian seperti ditunjukkan pada Gambar 8 berikut ini.



Gambar 8. Algoritma Pengendalian Sistem Kendali Motor Berkinerja Tinggi

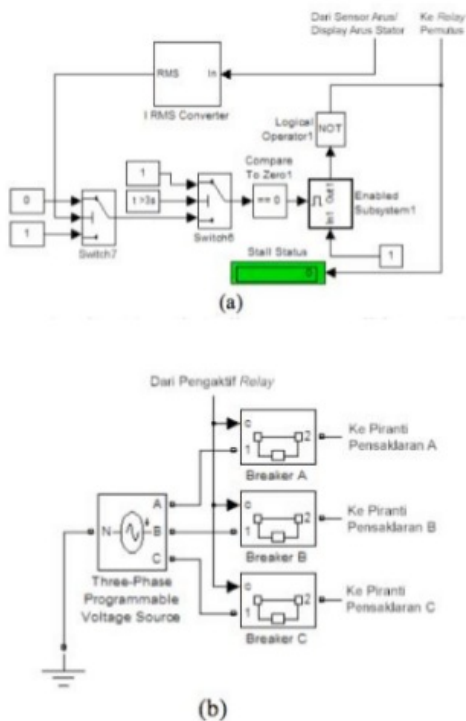
Rangkaian penggeser sudut picu atau penggeser pulsa pada Gambar 7 di atas, dalam model SIMULINK dapat disusun dengan menggunakan rangkaian pembangkit bilangan *decrement* untuk sudut pemicuan alfa. Rangkaian

ini akan membangkitkan nilai alfa dari nilai maksimum menuju nilai minimum dalam satuan derajat listrik. Rangkaian penggeser pulsa pemicuan dalam format disajikan pada Gambar 9.



Gambar 9. Rangkaian Penggeser Pulsa

Sedangkan rangkaian *stall detector* yang terdiri atas rangkaian sensor arus/torsi maksimum, pengaktif *relay*, dan *relay* pemutus dalam model SIMULINK ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Unit *Stall Detector* Versi SIMULINK Terdiri Atas:
(a) Pengaktif *Relay* dan (b) *Relay* Pemutus

III. METODE PENELITIAN

Studi ini diawali dengan melakukan perancangan sistem kendali *soft-starter* dan *stall-detector* menggunakan Gambar 7 dan Gambar 8. Selanjutnya, dilakukan implementasi rancangan tersebut menggunakan SIMULINK dan diteruskan dengan pengujian pada setiap unit dalam sistem kendali yang dikembangkan.

A. Sampel Penelitian

Sistem yang telah dibangun, diujicobakan terhadap 8 buah motor induksi tiga fase dari jenis 215 HP, 150 HP, 100 HP, 50 HP, 20 HP, 10 HP, dan 5.4 HP. Semua motor yang menjadi sampel penelitian diambil dari model yang disediakan oleh SIMULINK dengan parameter seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Motor Induksi Tiga Fase Sampel Penelitian

No.	Jenis Motor/ Name Plate	Parameter							
		R_s (Ω)	L_s (H)	R_r (Ω)	L_r (H)	L_m (H)	f (kg.m ²)	P (N.m.s)	p
1	215HP (160KW), 400V, 50Hz, 1487rpm	0,61379	0,000152	0,007728	0,000152	0,00769	2,9	0,05658	2
2	150HP (110KW), 400V, 50Hz, 1487rpm	0,02155	0,000226	0,01231	0,000226	0,01018	2,3	0,05421	2
3	100HP (75KW), 400V, 50 Hz, 1484rpm	0,03552	0,000335	0,02092	0,000335	0,0151	1,25	0,03914	2
4	50HP (37KW), 400V, 50 Hz, 1480rpm	0,08233	0,000724	0,0503	0,000724	0,02711	0,37	0,02791	2
5	20HP (15KW), 400V, 50Hz, 1480rpm	0,2147	0,000991	0,2205	0,000991	0,06419	0,102	0,009541	2
6	10HP (7,5KW), 400V, 50Hz, 1480rpm	0,7384	0,003045	0,7402	0,003045	0,1241	0,0343	0,000503	2
7	5,4HP (4KW), 400V, 50Hz, 1470rpm	1,405	0,005839	1,395	0,005839	0,1722	0,0131	0,002985	2
8	3HP, 220V, 60Hz, 1725rpm	0,435	0,004	0,816	0,002	0,06931	0,009	0	2

B. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan secara eksperimen simulatif dengan menggunakan skenario operasi normal dan operasi beban lebih seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Torsi beban untuk skenario operasi normal dan beban lebih

Jenis Motor	Torsi Beban Motor		
	Normal 1 $t=0s$ s.d. $t=6s$	Normal 2 $t=6s$ s.d. $t=8s$	Overloaded $t=8s$ s.d. $t=10s$
215 HP	380 N	760 N	1000 N
150 HP	277 N	554 N	800 N
100 HP	213,5 N	427 N	600 N
50 HP	110 N	220 N	400 N
20 HP	42 N	84 N	200 N
10 HP	22 N	44 N	88 N
5,4 HP	11 N	22 N	50 N
3 HP	10 N	20 N	50 N

Data-data yang dikumpulkan berupa besaran arus transien, torsi elektromagnetik dan kecepatan putar motor sebagai variabel terikat, dan waktu sebagai variabel bebas. Selanjutnya, dari data-data tersebut, dapat diperoleh grafik karakteristik dinamis dari arus stator, torsi elektromagnetik dan kecepatan putar rotor.

C. Analisis Data

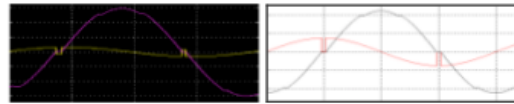
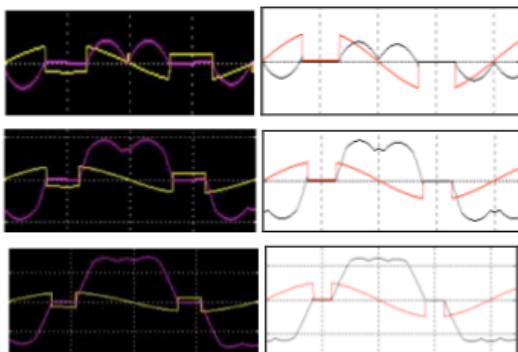
Setelah sistem utama, yakni pengendali tegangan AC menggunakan *thyristor*, teruji kinerjanya, unit *soft-starter* kemudian dipasang ke dalamnya. Untuk memastikan unit *soft-starter* telah berkerja dengan baik, dilakukan uji banding bentuk gelombang arus stator, torsi elektromagnetik dan kecepatan rotor yang dihasilkan terhadap hasil penelitian terdahulu berdasarkan referensi [1], [2], [10], [11], [18]. Kriteria kinerjanya adalah jika bentuk gelombang yang dihasilkan oleh sistem kendali *soft-starter* yang dibangun mirip dengan bentuk gelombang motor hasil penelitian terdahulu tersebut, maka produk yang dibangun telah dapat bekerja dengan baik. Selanjutnya dilakukan uji kinerja *soft-starter* dari kemampuannya dalam mereduksi arus *starting* dan torsi. Pengujiannya dilakukan dengan cara menghitung rasio arus dan torsi saat *start-up* terhadap arus dan torsi *steady state* untuk mode *direct-on-line* (DOL) *supplied* dan *soft-start*. Kedua rasio tersebut dibandingkan, jika rasio arus dan torsi *starting* terhadap nilai nominalnya untuk mode *soft-start* lebih kecil dibandingkan pada mode catu DOL, maka unit *soft-starter* dianggap memiliki kinerja yang baik.

Selain *soft-starter*, sub sistem lain yang dipasang pada sistem utama pengendali tegangan adalah sub sistem detektor *stall*. Unit ini diuji kinerjanya dengan mengamati konektivitas sistem terhadap tegangan catu tiga fase. Detektor *stall* dinyatakan dapat berkerja dengan baik jika pada saat tertentu ketika motor terkena beban lebih, sehingga torsi elektromagnetik atau arus statornya meningkat sampai batas ambang yang telah ditentukan, sistem dapat mematikan/memutus catu daya secara otomatis yang ditunjukkan oleh berubahnya nilai arus dan tegangan motor menjadi bernilai nol yang dapat diamati melalui *display output*.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Kinerja Sistem Utama

Hasil pengujian terhadap sistem utama (sebelum dipasang unit *soft-starter* dan *stall detector* menunjukkan bentuk gelombang arus dan tegangan motor seperti pada gambar 11.

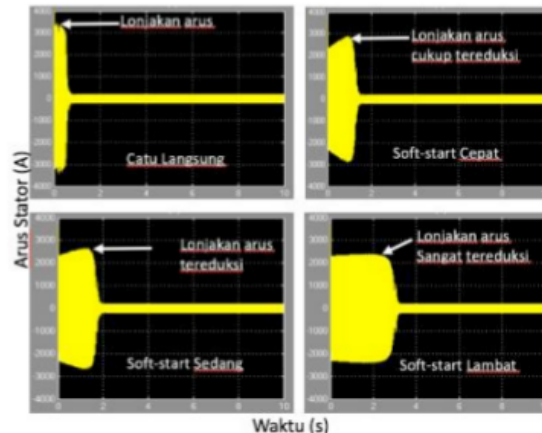


Gambar 11. Bentuk Gelombang Arus (Ungu) dan Tegangan (Kuning) Hasil Penelitian (Kiri) dan Pembanding Hamed & Chalmers (1990) (Kanan) Untuk Berbagai Sudut Pemucuan

Berdasarkan Gambar 11, terlihat bahwa bentuk gelombang tegangan eksitasi dan arus stator dari sistem utama yang dibangun pada penelitian ini mirip dengan bentuk gelombang dan arus motor hasil simulasi Hamed dan Chalmers [17]. Hal ini mengindikasikan bahwa sistem utama yang dibangun pada penelitian ini yakni pengendali tegangan dengan menggunakan *thyristor* terpicu telah dapat bekerja dengan baik.

B. Kinerja Soft-Starter

Melalui tahap pengujian, diperoleh hasil bahwa *starting current* yang dibangkitkan oleh motor induksi yang dioperasikan menggunakan catu daya langsung (*direct-on-line supplied*) terlihat nilainya sangat tinggi, namun nilai arus tersebut berkurang ketika sistem utama dijalankan dengan unit *soft-starter*, dan reduksinya semakin besar untuk kecepatan tegangan *ramp-up* yang semakin rendah (*soft-start* lambat) seperti ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Indikator Keberhasilan Unit *Soft-Starter* Secara Visual

Secara visual, sistem kendali *soft-start* yang dibangun melalui penelitian ini telah dapat melakukan fungsinya dengan baik yakni mampu melakukan reduksi arus *starting* sehingga nilainya berkurang saat motor melakukan *start-up*. Tingkat reduksi yang dapat dilakukan oleh sistem kendali *soft-start* untuk beban Normal-1 ditunjukkan pada Gambar 13 berikut ini.

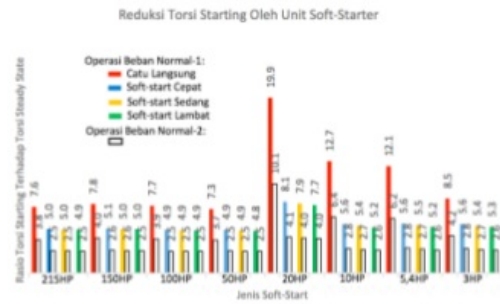
Gambar 13. Reduksi Arus *Starting* Oleh Unit *Soft-Starter* Untuk Beban Normal-1

Sedangkan tingkat reduksi arus *starting* yang dapat dilakukan oleh unit *soft-starter* untuk beban Normal-2 dapat disajikan melalui Gambar 14. Merujuk Gambar 13 dan Gambar 14, terlihat bahwa motor yang dicatu secara langsung membangkitkan arus *starting* yang sangat tinggi, baik untuk beban Normal-1 maupun Normal-2. Pemasangan unit *soft-starter* telah memberikan penurunan arus *starting* saat mesin melakukan *start-up* untuk semua jenis catu *soft-start* (cepat, sedang dan lambat) pada semua jenis motor. Hal ini menunjukkan dari sudut pandang kemampuan mereduksi lonjakan arus *starting*, sistem kendali *soft-start* yang dibangun telah dapat memberikan kinerja yang sangat baik.

Gambar 14. Reduksi Arus *Starting* Oleh Unit *Soft-Starter* Untuk Beban Normal-2

Melalui penelitian ini ditemukan pula fenomena yang menunjukkan semakin lambat catu *soft-start* yang diberikan, sistem kendali akan memberikan tingkat reduksi arus *starting* yang semakin tinggi. Hal ini berarti jenis catu *soft-start* mempengaruhi kemampuan sistem dalam mereduksi arus *starting*, dalam hal ini catu jenis *soft-start* lambat akan memberikan kinerja terbaik dari unit *soft-starter*.

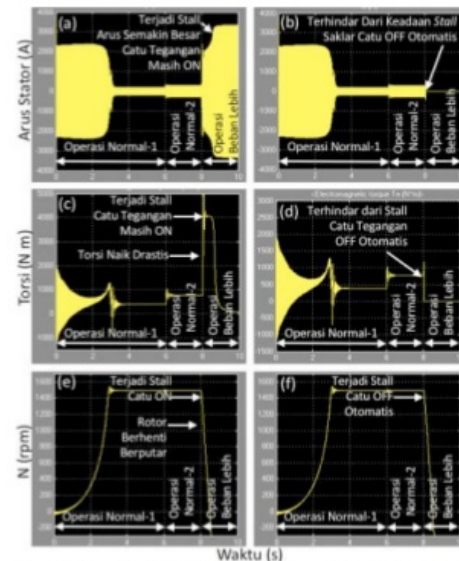
Selain ditinjau dari kemampuannya dalam mereduksi lonjakan arus *starting*, kinerja unit *soft-starter* juga ditinjau dari kemampuannya dalam mereduksi lonjakan torsi saat *start-up*. Hasilnya dapat disajikan grafik pada Gambar 15 berikut ini.

Gambar 15. Reduksi Lonjakan Torsi *Starting* Oleh Unit *Soft-Starter* Untuk beban Normal-1 dan Beban Normal 2

Merujuk Gambar 15, terlihat bahwa torsi *starting* (blok berwarna merah) yang dibangkitkan oleh motor yang dicatu secara langsung melonjak dengan nilai yang sangat tinggi. Sebagai contoh untuk motor jenis 215 HP dan 150 HP, lonjakan torsi *starting* berturut-turut mencapai 7,6 dan 7,8 kalinya torsi normal saat *steady state*, bahkan untuk motor jenis 20 HP lonjakannya mencapai hampir 20 kalinya torsi normal. Melalui Gambar 15, terlihat pula bahwa penggunaan sistem kendali *soft-start* telah mampu mereduksi lonjakan torsi *starting* untuk semua jenis *soft-starter* pada semua jenis motor yang digunakan sebagai sampel penelitian. Lonjakan torsi *starting* (blok berwarna merah) telah dapat direduksi dengan cukup signifikan menjadi torsi *starting* yang lebih rendah melalui sistem kendali *soft-start* berkecepatan tinggi (blok berwarna biru), sedang (blok berwarna kuning), dan lambat (blok berwarna hijau).

C. Kinerja Stall-Detector

Gambar 16 berikut ini merupakan analisis keadaan karakteristik motor induksi sebelum sistem dipasang *stall detector* untuk jenis catu daya *soft-start* lambat.

Gambar 16. Karakteristik Motor: (a) Tanpa *Stall Detector* dan (b) Dengan *Stall Detector*

Dari Gambar 16 (a) dan Gambar 16 (c), terlihat bahwa untuk operasi beban lebih pada sistem yang belum dipasang *stall detector*, terjadi kenaikan arus stator dan torsi elektromagnetik sehingga melebihi batas ambang keamanan motor, menyebabkan motor mengalami keadaan *stall*. Keadaan *stall* ini ditunjukkan oleh menurunnya secara drastis kecepatan putar rotor, seperti ditunjukkan pada Gambar 16 (e), sehingga motor menjadi berhenti berputar sementara catu tegangan masih terpasang yang ditunjukkan oleh masih munculnya arus stator seperti pada Gambar 16 (a). Dari analisis ini dapat diperoleh kesimpulan bahwa sistem kendali yang belum dipasang unit *stall detector*, pemberian torsi beban lebih dapat menyebabkan motor mengalami *stall*, yakni motor berhenti berputar tetapi catu tegangan masih terpasang (ON) pada inputnya.

Sementara itu, pada Gambar 16 sebelah kanan, terlihat bahwa motor induksi yang dikendalikan oleh sistem kendali *soft-start* yang dilengkapi dengan *stall-detector*, pada saat menerima beban lebih arus statomnya menunjukkan nilai nol yang berarti tidak ada arus yang mengalir pada belitan statomnya, seperti ditunjukkan pada Gambar 16 (b). Hal ini mengindikasikan bahwa *stall-detector* yang terpasang pada sistem telah bekerja mendeteksi arus lebih akibat pemberian beban lebih, dan ketika arus tersebut melebihi batas ambangnya maka catu daya akan dimatikan sehingga tampak arusnya menjadi nol (Gambar 16b), motor tidak lagi membangkitkan torsi (Gambar 16Gd) dan motor berhenti berputar (Gambar 14f) bersamaan dengan matinya catu daya (catu daya OFF secara otomatis) sehingga motor menjadi aman.

V. KESIMPULAN

Unit *soft-start* yang dibangun pada penelitian ini memiliki kinerja sangat baik. Untuk semua jenis motor yang menjadi sampel penelitian, unit ini mampu melakukan reduksi arus dan torsi *starting* secara signifikan. Kecepatan *soft-start* berpengaruh terhadap perubahan rasio reduksi arus *starting*, semakin lambat catu *soft-start* yang diberikan, sistem kendali akan memberikan tingkat reduksi arus *starting* yang semakin tinggi. Kecepatan *soft-start* tidak berpengaruh terhadap perubahan rasio reduksi torsi *starting*.

Unit *stall detector* yang terpasang pada sistem kendali yang dibangun juga memiliki kinerja sangat baik. Untuk semua jenis catu daya dan jenis motor yang digunakan sebagai sampel penelitian, unit ini mampu mematikan secara otomatis catu daya motor jika terjadi keadaan *stall*.

Secara keseluruhan sistem kendali motor induksi berkinerja tinggi yang dibangun telah menunjukkan kinerja yang sangat baik, ditunjukkan oleh kemampuannya dalam mereduksi secara signifikan arus dan torsi *starting*, serta kemampuannya dalam mematikan secara otomatis catu daya ketika motor mengalami keadaan *stall*, sehingga dapat digunakan sebagai *apparatus* laboratorium.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Sunardi, Ph.D., dan Rusydi Umar, Ph. D. dosen Teknik Elektro Universitas Ahmad Dahlan yang telah memberikan saran-saran konstruktif terhadap paper ini melalui diskusi yang intensif. Kepada para mahasiswa peserta mata kuliah Mesin-mesin Listrik juga diucapkan terimakasih atas bantuannya melakukan ujicoba produk ini.

REFERENSI

- [1] K. S. Nithin, B. M. Jos, and M. Rafeek, "An improved method for starting of induction motor with reduced transient torque pulsations," *Int. J. Adv. Res. Electr. Electron. Instrum. Eng.*, vol. 2, no. 1, pp. 462–470, 2013.
- [2] M. Rafeek, B. M. Jose, K. S. Nithin, and B. Paul, "A novel soft starter for three-phase induction motors with reduced starting current and minimized torque pulsations," *Int. J. Eng. Innov. Technol.*, vol. 2, no. 8, pp. 210–213, 2013.
- [3] R. Raphael and B. PR, "Fault detection of Induction Motor using Envelope Analysis," *Int. J. Adv. Res. Technol.*, vol. 2, no. 7, pp. 258–262, 2013.
- [4] R. Padmapriyadharishini, "Improved soft start capability of induction motor using solar power generation based z source inverter," *Int. J. MC Sq. Sci. Res.*, vol. 7, no. 1, pp. 66–76, 2015.
- [5] R. Padmapriyadharishini, K. I. N, and V. Ramakrishnan, "Comparison of pi and fuzzy based vector control and soft start capability by adding sl-zsi with photovoltaic for induction motor drive," *Int. J. Comput. Technol. Appl.*, vol. 9, no. 31, pp. 273–289, 2016.
- [6] N. Mohan, T. M. Undeland, and W. P. Robbins, *Power Electronics: Converters, Applications and Design*, Third Edit. Hoboken, Nj: John Wiley & Sons, Inc., 2003.
- [7] Eaton Corporation, "Choosing between a soft starter and a variable frequency drive to t your application," *Industry Application IA04003002E*, Cleveland, OH, pp. 1–4, 2013.
- [8] Rockwell Automation, "When to use a soft starter or an ac variable frequency drive," *Rockwell Automation Publication 150-WP007A-EN-P*, Milwaukee, WI, pp. 1–22, 2014.
- [9] D. Ryu, H. Jeon, and J. Shon, "Implementation of soft-starter with large scale power stack for high voltage induction motor driving," *Trans. Korean Inst. Electr. Eng.*, vol. 65P, no. 2, pp. 88–93, 2016.
- [10] T. Jun, L. Yao, and W. Xia-hui, "Research and Design of High Torque Soft Starter Based on Discrete Frequency Tong Jun," in *6th International Conference on Information Engineering for Mechanics and Materials (ICIMM 2016)*, 2016, pp. 150–156.

- [11] B. Trivedi, J. Raval, J. Desai, and K. Sonwane, "start of induction motor using TRIAC switching," *Int. J. Eng. Dev. Res.*, vol. 5, no. 2, pp. 1635–1639, 2017.
- [12] W. Mackay, "Compressor induction motor stall and rotation detection using microcontrollers," *Application Note AN2149 Freescale Semiconductor, Inc.*, Denver, Colorado, pp. 1–36, 2004.
- [13] STMicroelectronics, "L9942 back emf stall detection algorithm," *Application Note AN3327*, Geneva, Switzerland, pp. 1–22, Dec-2013.
- [14] ON-Semiconductor, "AMIS-30623/AMIS-30624/NCV70627 stall detection," *Application Note AND8471/D*, Phoenix, Arizona, pp. 1–30, Aug-2015.
- [15] P. J. Unsworth, "Controller for induction motors," US4767975 A, 1988.
- [16] C. Borse, A. Pandhare, and R. Kumar, "PLC based induction motor starting and protection," *Int. J. Eng. Res. Techn. Sci. Vol.*, vol. 3, no. 2, pp. 893–897, 2015.
- [17] S. A. Hamed and B. J. Chalmers, "Analysis of variable-voltage thyristor controlled induction motors," *IEE Proc.*, vol. 137, no. 3, pp. 184–193, 1990.
- [18] V. Singh, A. Gupta, A. Gupta, A. Garg, A. Khandelwal, and A. Gupta, "Induction motor protection system," *Imp. J. Interdiscip. Res.*, vol. 3, no. 3, pp. 714–716, 2017.
- [19] Muchlas, "Pengembangan simulator berbasis matlab untuk pembelajaran praktik karakteristik motor induksi tiga fase," Penelitian tak diterbitkan. Universitas Ahmad Dahlan, Yogyakarta, 2016.

Rancang Bangun Solar Meter dengan Sistem Data Logger Berbasis Mikrokontroler

Usman¹⁾, Umar Muhammad²⁾, Nanang Roni Wobowo³⁾

^{1,2} Program Studi Teknik Listrik, Politeknik Bosowa

usman@politeknikbosowa.ac.id

umar_e01uh@yahoo.co.id

³ Program Studi Teknik Mekatronika, Politeknik Bosowa

nanangroni80@gmail.com

Abstrak

Makalah ini membahas perancangan dan pembuatan dari pada alat pengukur radiasi matahari yang biasa disebut *solar power meter* menggunakan *solar cell* sebagai sensornya. Untuk melakukan pembacaan yang *real time* dan pencatatan hasil pengukuran secara otomatis maka digunakan sistem *data logger* dimana data yang direkam tersebut disimpan langsung pada *Micro SD Card*. Pengukuran radiasi matahari yang ditampilkan merupakan hasil pengolahan data yang diterima oleh sensor pada *arduino* dengan menggunakan algoritma *fixed point iteration*. Parameter yang diperlukan untuk menghitung radiasi matahari adalah tegangan hubung buka (*Voc*), arus hubung singkat (*Isc*) dan suhu. Hasil pengukuran menunjukkan kinerja yang tinggi dengan presentasi Kesalahan (PK) rata-rata sebesar 2,63%, dengan dengan frekuensi pengambilan data yaitu setiap 1 menit yang dimulai dari pukul 09.00 sampai 16.00. Akan tetapi data yang berhasil tersimpan pada *micro SD card* masih mempunyai keterbatasan. Data yang tersimpan pada media penyimpanan tersebut berformat *.txt. Data hasil pengukuran radiasi matahari selain tersimpan pada media penyimpanan juga ditampilkan pada *Liquid Cristal Display* (LCD) yang akan diperbaharui setiap 1 menit.

Keywords: radiasi matahari, real-time, data logger, fixed point iteration

I. PENDAHULUAN

Radiasi matahari berasal dari reaksi fusi termonuklir pada matahari yang menjadi energi dan dipancarkan ke segala arah. Kerapatan energi sampai bumi adalah sebesar 1367 W/m^2 [1]. Radiasi matahari sampai di permukaan bumi terjadi secara langsung dan tidak langsung setelah tersebar atau terpantul oleh aerosol, molekul-molekul atmosfer dan awan. Penyerapan kedua komponen radiasi tersebut yang sampai di permukaan disebut radiasi global.

Radiasi matahari ini sangat penting dalam proses perencanaan pembangkit listrik tenaga surya, proses pembelajaran/praktikum maupun penelitian tentang pemanfaatan energi matahari itu sendiri. Radiasi matahari pada umumnya diukur dalam W/m^2 atau $\text{Btu/(ft}^2\text{-h)}$ dengan menggunakan alat yang disebut *Solar Power Meter*. Akan tetapi ketersediaannya terbatas dan harganya yang begitu mahal dan merupakan produk dari luar negeri. Sehingga demikian diperlukan riset pengembangan material yang bersifat aplikatif untuk dimanfaatkan dalam pengembangan energi baru dan terbarukan. Hal ini didukung oleh kebijakan pemerintah, dimana pada saat ini pemerintah memfokuskan pada bidang penciptaan dan pemanfaatan energi baru dan terbarukan [2].

Permasalahan di atas secara konseptual dapat diatasi dengan mencoba mengganti sensor cahaya yang digunakan, menjadi sel surya. Pada dasarnya yang membuat harga *Solar Power Meter* menjadi mahal adalah karena komponen sensornya. Pada penelitian-penelitian

sebelumnya misalnya oleh [3] menggunakan sensor *phototransistor* PT501, [4] menggunakan sensor suhu LM35, [5] memanfaatkan *photodiode*, [6] menggunakan *solar cell*, [7] menggunakan panel surya. Hasil pengukuran penelitian-penelitian tersebut hanya ditampilkan pada *display* (LCD) sehingga untuk melakukan tabulasi hasil pengukurannya dilakukan secara manual maupun tersimpan pada PC. Sehingga membuat alat ini kurang efektif apabila dilakukan pengukuran yang tidak menentu atau berpindah-pindah.

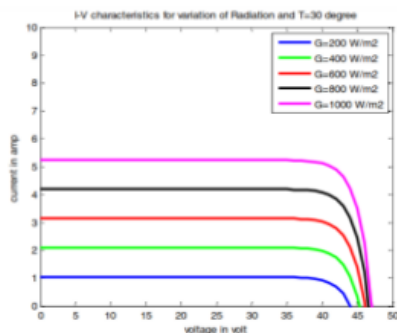
Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menghasilkan sebuah purwa rupa pengukur radiasi matahari yang dapat melakukan pengukuran secara *real-time* dimana hasil pengukurannya dapat disimpan pada media penyimpanan dalam hal ini sebuah *memory card* dengan menggunakan sistem *data logger*. Untuk mengestimasi besarnya radiasi matahari sensor yang digunakan adalah *solar cell* dengan mengukur arus dan tegangan keluarnya pada saat permukaannya ditimpa oleh sinar matahari. Pemodelan untuk mendapatkan nilai dari radiasi matahari dengan menggunakan model yang dikembangkan oleh [6].

II. KAJIAN LITERATUR

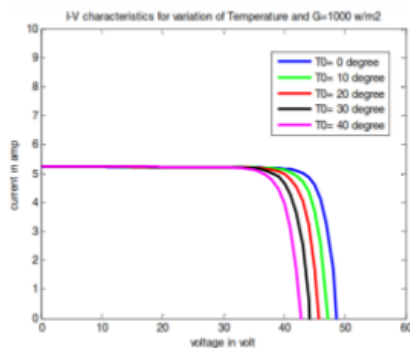
Radiasi matahari (*global irradiance*) adalah pancaran energi yang berasal dari proses reaksi fusi yang terjadi di matahari. Energi inilah yang biasa disebut dengan energi matahari (konstanta matahari) yang merupakan energi dari matahari per unit waktu yang diterima pada satu unit luasan permukaan yang tegak lurus arah radiasi matahari pada jarak rata-rata matahari bumi di luar atmosfer. Atmosfer bumi mengurangi radiasi yang melewati

pemantulan, serta penyebaran. Di cuaca yang bagus pada siang hari, pancaran bisa mencapai 1000 W/m^2 di permukaan bumi [8]. Radiasi matahari yang dipancarkan mempunyai panjang gelombang dengan jangkauan $0,25 \mu\text{m} - 3 \mu\text{m}$ (untuk di luar atmosfer bumi), sedangkan untuk di atmosfer bumi berkisar antara $0,32 \mu\text{m} - 2,53 \mu\text{m}$. 7% radiasi tersebut adalah ultraviolet (AM 0), 47% adalah cahaya tampak ($0,4 \mu\text{m} - 0,75 \mu\text{m}$), 46% merupakan cahaya inframerah [1].

Solar cell merupakan komponen terkecil penyusun suatu panel/modul surya. *solar cell* pada umumnya menggunakan bahan *silicon* memiliki ketebalan minimum $0,3 \text{ mm}$ dan biasanya menghasilkan tegangan $0,5 \text{ Volt}$ [1], [9]. Karakteristik suatu *solar cell* pada umumnya digambarkan pada kurva I-V dengan radiasi yang berbeda-beda seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1(a). Gambar tersebut menunjukkan keluaran dari *solar cell* baik arus maupun tegangan pada kondisi radiasi matahari yang berbeda-beda akan menghasilkan arus dan tegangan yang berbeda-beda pula, sama halnya dengan hasil penelitian [10] seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 yang menyatakan bahwa radiasi matahari adalah fungsi dari tegangan keluaran *solar cell*. Akan tetapi tegangan keluaran dari *solar cell* akan dipengaruhi oleh suhu yang mencapai permukaan *solar cell* itu sendiri seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 1(b).

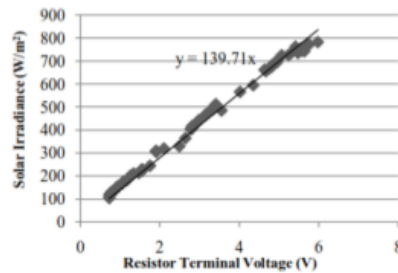


(a) V-I terhadap radiasi



(b) V-I terhadap suhu

Gambar 1 Karakteristik V-I solar cell [11].

Gambar 2. Kalibrasi *solar cell* dengan radiasi matahari dan tegangan [10].

Untuk mengestimasi radiasi matahari yang menimpa permukaan *solar cell* dan pengaruh dari suhu lingkungan akan digunakan sebuah algoritma yang telah dikembangkan pada referensi [6] yang dituliskan sebagai berikut :

$$I(V) = \frac{1x}{1 - \exp\left(\frac{-1}{b}\right)} \times \left[1 - \exp\left(\frac{V}{b \times Vx} - \frac{1}{b}\right)\right] \dots \dots (1)$$

$$Vx = \frac{Ei}{Ei_n} \times TCV \times (T - T_n) + Vmax - (Vmax - Vin) \times \exp\left(\frac{Ei}{Ei_n} \times \ln\left(\frac{Vmax - Voc}{Vmax - Vin}\right)\right) \dots \dots (2)$$

$$Ix = \frac{Ei}{Ei_n} \times Isc + TCI \times (T - T_n) \dots \dots \dots (3)$$

Persamaan ini merupakan hubungan karakteristik dari *solar cell* dengan tingkat radiasi dan suhu sesaat. Hubungan ini dapat direalisasikan dengan menggunakan *fixed point iteration*, seperti yang dijelaskan pada [13]. Persamaan iterasinya adalah:

$$T(n+1) = T_n + \frac{Ei(n) \times (Vx - Vmax)}{TCV \times Ei_n} + \frac{Ei_n}{TCV \times Ei_n} \times (Vmax - Vin) \times \ln \dots \dots \dots (4)$$

$$Ei(n+1) = \frac{Ix \times Ei_n}{Isc + TCI \times (T(n) - T_n)} \dots \dots \dots (5)$$

Vx merupakan tegangan *open circuit* seketika dan Ix merupakan arus *short circuit* seketika nilai ini diukur dengan membuka rangkaian pada *solar cell* dan mengukur arus *open circuit* dengan menghubungkan singkat *solar cell*. TCi merupakan perbandingan penurunan daya akibat kenaikan dari suhu standar dan T merupakan suhu pada saat pengukuran.

III. METODE PENELITIAN

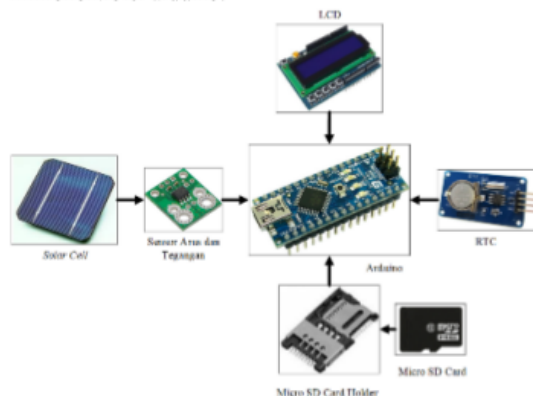
Penelitian pengukuran radiasi matahari ini tidak didasarkan pada radiasi panjang gelombang, karena yang digunakan adalah *solar cell* yang tidak mampu mengukur panjang gelombang cahaya tampak, yang merupakan panjang gelombang radiasi matahari. Penelitian ini dimulai dengan pengumpulan referensi terkait, desain perangkat keras dan lunak, pabrikasi, pengimplementasian algoritma

fixed point iteration pada mikrokontroler, pengujian, analisis data dan penyusunan laporan. Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini di sajikan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Alat bahan utama yang di gunakan.

No.	Alat/bahan	Spesifikasi
1	Solar cell	V: 6 Volt, P: 1 Watt, I: 0-200 mA Dimensi: 11cm x 6cm x 0,25cm, jenis kristal silycon
2	Voltage, Current and Power modul	0.1 ohm 1% 2W current sense resistor, Up to +26V target voltage, Up to ±3.2A current measurement, with ±0.8mA resolution, 0.9" x 0.8"
3	RTC	• Real-Time Clock Counts Seconds, Minutes, Hours, Date of the Month, Month, Day of the Week, and Year, with Leap-Year Compensation Valid Up to 2100 • Accuracy ±2ppm from 0°C to +40°C • Accuracy ±3.5ppm from -40°C to +85°C • Digital Temp Sensor Output: ±3°C Accuracy
4	Micro SD	asitas 8GB
5	Arduino nano	The Arduino Nano is a microcontroller board based on the ATmega328, 14 digital input/output pins (of which 6 can be used as PWM outputs), 8 analogue inputs 16 MHz ceramic resonator, USB connection, Power supply: 5 VDC
6	Sensor suhu	Programmable Digital Temperature Sensor, Communicates using 1-Wire method, Operating voltage: 3V to 5V, Temperature Range: -55°C to +125°C, Accuracy: ±0.5°C, Output Resolution: 9-bit to 12-bit (programmable), Unique 64-bit address enables multiplexing, Conversion time: 750ms at 12-bit

Rancangan perangkat keras dalam penelitian ini disajikan pada Gambar 3, sedangkan Gambar 4 merupakan rancangan perangkat lunak yang akan menjalankan algoritma yang akan ditanamkan pada mikrokontroler arduino.



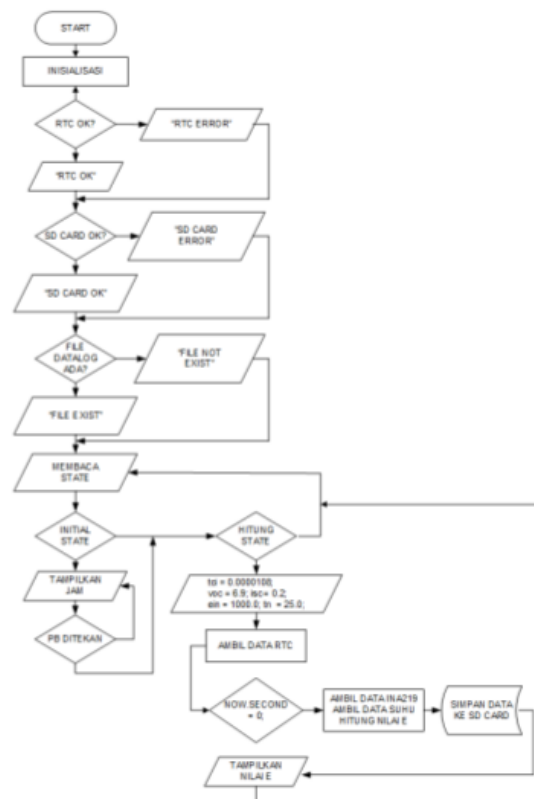
Gambar 3. Diagram blok Solar Meter dengan sistem data logger.

Pengujian dari solar meter ini akan dilakukan selama 8 jam dalam sehari yaitu mulai pukul 09.00 – 16.00. Perekaman data pada micro SD card diatur pada setiap 1 menit. Untuk melihat tingkat keakurasian dari solar meter yang dibuat ini akan dibandingkan hasil pengukurannya dengan Portable Solar Power Meter SM206. Alat yang digunakan sebagai pembanding ini mempunyai tingkat keakuratan pengukuran sebesar ± 5%. Pengukuran dengan alat ini akan dilakukan setiap 30 menit. Indikator kinerja untuk mengukur kinerja solar power yang dibuat ini adalah persentase kesalahan (PK). Persentase Kesalahan merupakan perbedaan antara nilai yang terukur dari sebuah pengukuran x_0 dan nilai aktualnya x diberikan oleh

$$\Delta x = |x_0 - x| \dots \dots \dots (6)$$

Sedangkan untuk mengukur tingkat kesalahan dari nilai yang terukur hasil pengukuran dan nilai aktualnya adalah dengan [10].

$$PK = \frac{|x_0 - x|}{x} \times 100\% \dots \dots \dots (7)$$



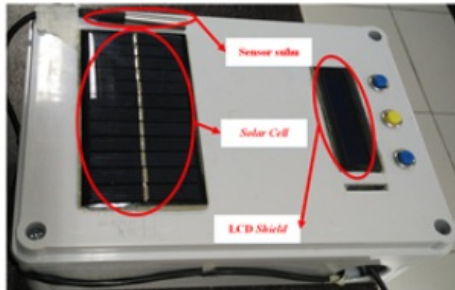
Gambar 4. Flowchart perangkat lunak

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

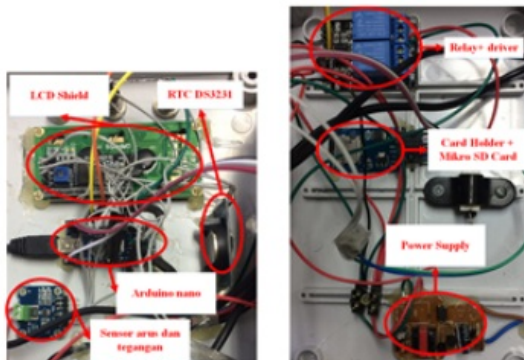
A. Hasil Perancangan Perangkat Keras

Gambar 5 berikut menunjukkan hasil perancangan/ implementasi dari perancangan Solar Meter seperti yang disajikan pada blok diagram (Gambar 3). Pada

implementasinya rangkaian yang ditunjukkan pada blok diagram ditambahkan rangkaian relai bersama drivernya. Penambahan rangkaian ini berfungsi sebagai sakelar untuk mengukur V_{oc} dan I_{sc} pada waktu-waktu yang telah ditentukan sesuai dengan algoritma yang ditanamkan pada mikrokontroler. Hasil implementasi dari Solar Meter ini berbentuk kotak dimana pada bagian tampak luarnya terdapat solar cell dan LCD untuk menampilkan hasil pengukuran. Sedangkan pada bagian dalam terdapat komponen utama yaitu RTC DS3231, Arduino nano, sensor arus dan tegangan, relay+driver, card holder + micro SD card dan power supply.



Tampak Luar



Tampak Dalam

Gambar 5. Solar Meter hasil perancangan.

B. Hasil Perancangan Perangkat Lunak

Hasil yang ditampilkan pada perancangan lunak ini berupa source code yang akan ditanamkan pada mikrokontroler untuk menjalankan algoritma *fixed point iteration*. Berikut ini source code untuk menghitung nilai radiasi matahari (*solar irradiance*) yang diterima oleh sensor.

```

tci = 0.0000108; //temperature coefficient index
voc = 6.9; //Open circuit solar cell
isc = 0.2; //Short circuit current solar cell
ein = 1000.0; //irradiance standart
tn = 25.0; //temperature standart

digitalWrite(rly_in1,HIGH); digitalWrite(rly_in2
,HIGH);
DateTime now = rtc.now();
if (now.second() == 0 )
{digitalWrite(rly_in1,LOW);

```

```

25 digitalWrite(rly_in2,LOW);
shuntvoltage = ina219.getShuntVoltage_mV();
busvoltage = ina219.getBusVoltage_V();
loadvoltage = busvoltage + (shuntvoltage /
1000);
ix = ina219.getCurrent_mA()/1000;
gettemp();
E = ((ein*ix)/(isc+(tci*(suhu-tn)))*3.155);
//3.155 mengubah Btu/h menjadi W/m^2
logging();

24 lcd.setCursor(0,0);
lcd.print(" ");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("E :");
lcd.print(E);
if (digitalRead(pb2)==LOW) {
lcd.clear();
state = inisial;
} else {
state = inparam;
}

```

Hasil dari source code setelah diolah pada mikrokontroler sebagai pusat pengendali dan pemrosesan data dapat dilihat pada Gambar 6 berikut.



Gambar 6. Hasil pembacaan radiasi matahari.

Source code untuk menyimpan hasil pengukuran yang telah dilakukan pada Micro SD card adalah sebagai berikut.

```

void logging()
{
32 dataFile = SD.open("datalog.txt",
FILE_WRITE);
DateTime now = rtc.now();
if (dataFile)
{
dataFile.print(now.day());dataFile.print("/");
dataFile.print(now.month());dataFile.print("/");
dataFile.print(now.year());dataFile.print(" ");
dataFile.print(now.hour());dataFile.print(":");
dataFile.print(now.minute());dataFile.print(":");
dataFile.print(now.second());dataFile.print(" ");
dataFile.print(loadvoltage);dataFile.print(" ");
dataFile.print(ix);dataFile.print(" ");
dataFile.print(suhu);dataFile.print(" ");
}
}

```


41

```

dataFile.print(E);dataFile.println(" ");
dataFile.close();
}
else
{
    lcd.clear();
}
}

```

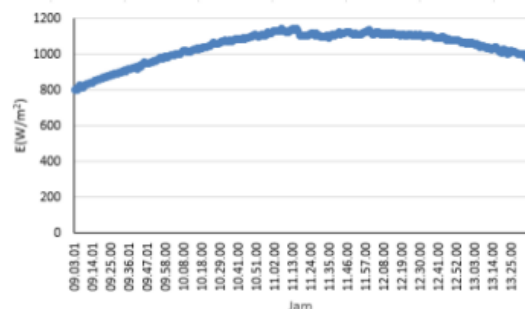
Hasil yang ditampilkan pada *micro SD card* sesuai dengan *Source code* di atas ditunjukkan pada Gambar 7. Data disimpan berformat *.txt yang dapat di buka langsung menggunakan *notepad* ataupun dipindahkan pada aplikasi lain seperti ms excel ataupun ms World. Sehingga memudahkan kita untuk melakukan pengolahan datanya. Data yang disimpan berfrekuensi 1 menit. Data yang disimpan berupa tanggal, bulan, tahun, jam, menit, detik, Vsc, Isc, suhu dan radiasi matahari.

20/08/2018	10.00.00	1.03	0.06	49.00	992.54
20/08/2018	10.00.00	1.03	0.06	48.50	997.29
20/08/2018	10.00.00	1.03	0.06	49.00	994.11
20/08/2018	10.00.00	1.03	0.06	49.00	990.96
20/08/2018	10.00.00	1.03	0.06	49.00	997.27
20/08/2018	10.01.00	1.04	0.06	48.50	994.14
20/08/2018	10.01.00	1.05	0.06	48.50	995.72
20/08/2018	10.01.00	1.02	0.06	48.50	997.29
20/08/2018	10.01.00	1.04	0.06	48.50	1002.02
20/08/2018	10.01.01	1.05	0.06	49.00	997.27

Gambar 7. Data yang tersimpan pada *micro SD card* dibuka dengan aplikasi *notepad*.

C. Hasil Pengukuran

Pengukuran dilakukan dari pukul 09.00 sampai dengan pukul 16.00, akan tetapi yang tersimpan pada *micro SD card* hanya sampai pada pukul 13.25. Hasil pengukuran tersebut disajikan pada Gambar 8. Berdasarkan gambar tersebut dilihat bahwa semakin menjelang tengah hari radiasi matahari semakin tinggi kemudian akan menurun lagi setelah melewati tengah hari.



Gambar 8. Hasil pengukuran *solar meter*.

D. Analisis

Perbandingan hasil pengukuran *solar meter* dengan *Portable Solar Power Meter SM206* disajikan pada Tabel 2. Berdasarkan tabel tersebut PK yang terbesar adalah sebesar 5.53% dan yang terkecil adalah sebesar 0.13% dengan rata-rata PK adalah sebesar 2.84%. PK kesalahan rata-rata ini lebih kecil dibandingkan dengan alat pembanding yang digunakan yaitu sebesar $\pm 5\%$. Penelitian yang sama untuk pengukuran radiasi yang dilakukan oleh [10] mempunyai PK rata-rata sebesar 5.28%, nilai ini lebih

besar 2.45% dibandingkan dengan *solar meter* dalam usulan ini. Penelitian oleh [12] mempunyai selisih 0.45% lebih besar dari yang dihasilkan dalam penelitian ini.

Tabel 2. Perbandingan pengukuran *Solar Meter* dengan *SM206*

Waktu	E (W/m ²)		PK (%)
	Solar Meter	SM206	
09.03.00	807.54	852	5.22
09.30.00	897.478	950	5.53
10.00.00	994.434	1005	1.05
10.30.00	1069.192	1135	5.80
11.00.00	1117.898	1122	0.37
11.30.00	1095.83	1107	1.01
12.00.00	1124.348	1163	3.32
12.30.00	1107.114	1053	5.14
13.00.00	1059.168	1051	0.78
13.30.00	999.282	998	0.13

V. KESIMPULAN

Solar meter yang diajukan telah difabrikasi dan dilakukan pengujian dimana hasil pengujian menunjukkan performa yang tinggi dengan PK rata-rata sebesar 2.84%. dibandingkan dengan *Portable Solar Power Meter SM206*. Data radiasi matahari direkam dan disimpan pada *micro SD card* dengan frekuensi 1 menit. Data tersebut tersimpan dalam format *.txt, dimana data ini dapat dibuka pada beberapa aplikasi seperti *notepad*, ms Word dan ms excel.

Solar meter yang diusulkan masih mempunyai keterbatasan dalam menyimpan rekaman data pada *micro SD card*, sehingga masih perlu dikembangkan. Dari pengukuran yang dilakukan mulai pukul 09.00 – 16.00, data yang tersimpan pada *micro SD card* hanya sampai pukul 13.35.

11

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Riset dan Teknologi yang telah memberikan bantuan dan dukungan dengan nomor kontrak 01/LPPM/SPJ-PBSW/2018 dan kepala LPPM Politeknik Bosowa yang telah memberikan arahan dan bantuan selama proses penelitian berlangsung.

19

REFERENSI

- [1] R. Foster, M. Ghassemi, and A. Cota, "Solar Energy," in *Renewable Energy and The Environment*, M. Ghassemi, Ed. CRC Press, 2009.
- [2] Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat Kementerian RISTEKDIKTI, "Panduan Pelaksanaan Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat di Perguruan Tinggi," XI., Jakarta: Kementerian RISTEKDIKTI.
- [3] A. A. Firman, "Rancang bangun Sistem Monitor

- Intesitas Radiasi Matahari Berbasis Arduino Uno Mega 2560," Surabaya, 2016.
- [4] Y. A. Rottic, "Perancangan Alat Pengukur Energi Radiasi Matahari Berbasis PC," Medan, 2103.
 - [5] V. Tatsiankou, K. Hinzer, H. Schriemer, J. Haysom, and R. Beal, "A novel instrument for cost-effective and reliable measurement of solar spectral irradiance," in *Photovoltaic Specialist Conference (PVSC), 2015 IEEE 42nd*, 2015, pp. 1–4.
 - [6] J. Cruz-Colon, L. Martinez-Mitjans, and E. I. Ortiz-Rivera, "Design of a low cost irradiance meter using a photovoltaic panel," in *Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), 2012 38th IEEE*, 2012, pp. 1–2912.
 - [7] F. Mancilla-David, F. R. Fulginei, A. Laudani, and A. Salvini, "A Neural Network-Based Low-Cost Solar Irradiance Sensor.," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 63, no. 3, pp. 583–591, 2014.
 - [8] J. A. Duffie and W. A. Beckman, *Solar engineering of the thermal processes*. John Wiley & Sons, 2013.
 - [9] S. R. Wenham, M. A. Green, M. E. Watt, R. Corkish, and A. Sproul, *Applied photovoltaics*. Routledge, 2013.
 - [10] F. S. A. Aziz, S. I. Sulaiman, and H. Zainuddin, "A prototype of an integrated pyranometer for measuring multi-parameters," in *Signal Processing and its Applications (CSPA), 2013 IEEE 9th International Symposium on*, 2013, pp. 73–77.
 - [11] E. I. O. Rivera and F. Z. Peng, "Algorithms to estimate the temperature and effective irradiance level over a photovoltaic module using the fixed point theorem," in *Power Electronics Specialists Conference, 2006. PESC'06. 37th IEEE*, 2006, pp. 1–12.
 - [12] P. Bharadwaj and V. John, "Design, fabrication and evaluation of solar irradiation meter," in *2014 IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES)*, 2014, pp. 1–6.

Penerapan Kontrol SCADA pada Plant Simulator Bendungan Air Sebagai Sarana Pembelajaran Interaktif Untuk Mahasiswa

Kifaya¹⁾, Chaerur Rijal²⁾

^{1,2)} Teknik Elektro, Politeknik Negeri UjungPandang
E-mail: ¹kifaya@poliupg.ac.id, ²ibe.chaerur@gmail.com

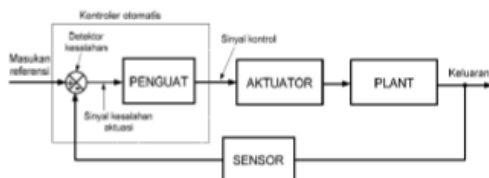
Abstrak

Tujuan Penelitian ini untuk mendesain sebuah simulator plant yang dapat mensimulasikan proses pengaturan air pada pintu air utama Valve 1 dan pintu air sekunder valve 2 disebuah bendungan air, mendesain sistem kendali berbasis SCADA (*Supervisory Control And Data Aquisition*) untuk proses pengaturan pintu air pada sebuah simulator bendungan air dan menerapkan sistem kendali SCADA (sistem kendali berbasis jaringan komputer) pada plant untuk dimanfaatkan sebagai sarana praktek yang interaktif bagi mahasiswa. Aplikasi SCADA yang didesain dapat menampilkan penunjukan ketinggian air yang tepat, berupa output hasil pengujian sensor water level untuk beberapa kondisi ketinggian air. Pengambilan data pengujian sensor level dilakukan dengan mengisi penampungan air dengan ketinggian air dimulai dari 0,05 cm hingga mencapai ketinggian 4 cm dengan tiap-tiap kenaikan sebesar 0,5 cm. Tegangan output sensor level dikonversi menjadi besaran jarak dengan suatu persamaan. Persamaan diperoleh dengan melakukan regresi data hasil pengukuran dan diperoleh regresi polinomial orde 3. Pada Simulator Plant yang dibuat dapat diamati kondisi level air dan pada display dimana terdapat pembacaan sudut bukaan valve 1, sudut penunjukan motor DC dan kondisi valve 2. Pembacaan sudut bukaan valve 1, sudut penunjukan motor DC dan kondisi valve 2 tergantung pada kondisi level air. Valve 2 hanya membuka pada kondisi level air > 95 atau diatas 30 cm. Simulator plant bekerja pada nilai $K_p = 5$ dan $K_d = 0,99$.

Keywords: Simulator Plant, SCADA, Level Air.

I. PENDAHULUAN

Trainer Analog Control System ACS-1000 adalah suatu trainer system pengaturan berbasis analog. Kelemahan dari trainer analog ini pada proses penalaan parameter K_p , K_i , maupun K_d . Kelemahan ini terjadi dikarenakan proses penalaan menggunakan potensio analog, sehingga tanggapan respon *output plant* yang dihasilkan tidak sesuai dengan teori atau yang diharapkan.



4 Gambar 1. Blok diagram system pengaturan

Kontroler mendeteksi sinyal kesalahan aktuasi, yang biasanya mempunyai tingkat daya sangat rendah, dan memperkuatnya menjadi tingkat yang tingginya mencukupi. Kontroler otomatis terdiri dari detektor kesalahan dan penguat atau amplifier. Seringkali rangkaian umpan balik yang sesuai, bersama dengan penguat, digunakan untuk mengubah sinyal kesalahan aktuasi dengan memperkuat dan kadang-kadang dengan diferensiasi dan atau integrasi untuk menghasilkan sinyal kontrol yang lebih baik. Aktuator adalah alat daya yang menghasilkan masukan ke "plant" sesuai dengan sinyal kontrol sedemikian sehingga sinyal umpan balik akan berkaitan dengan sinyal masukan acuan. Keluaran dari kontroler otomatis dimasukkan ke aktuator.

II. KAJIAN LITERATUR

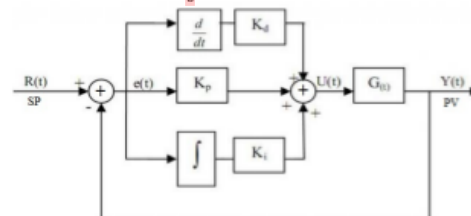
A. Kontroler Proportional-Integral-Derivative (PID)

Sebuah kontroler *proportional-integral-derivative* (PID controller) akan menghitung nilai "error" (e) yang merupakan selisih antara variabel proses atau process value (PV) yang terukur dan nilai setpoint (SP) yang diberikan. Kontroler selalu berusaha untuk mengurangi nilai error tersebut dengan mengatur besarnya sinyal kedali yang masuk ke *Plant*.

Suatu kontroler PID akan menghitung tiga parameter konstanta yang terpisah yaitu nilai konstanta *proportional*, *integral* dan nilai *derivative*, yang disimbolkan masing-masing dengan K_p , K_i , and K_d . Nilai output *proportional*, *integral* dan *derifativakan* dijumlahkan sebagai output dari kontroler PID ini.

Berdasarkan definisi output kontroler PID ini, dapat dirumuskan bentuk umum suatu kontroler PID sesuai Persamaan (2.1). Adapun bentuk diagram blok suatu kontroler PID seperti pada Gambar 2.2.

$$U(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \int_0^t e(t) \cdot dt + K_d \cdot \frac{de(t)}{dt} \dots \dots \dots (2.1)$$



Gambar 2. Blok diagram kontrol PID

3

Berbeda dengan kontrol PID analog yang pengolahannya bersifat kontinyu, Di dalam sistem digital, pengolahan sinyal kontrol oleh PID digital pada dasarnya dilakukan pada waktu-waktu diskret. Dalam hal ini konversi sinyal dari analog ke digital, pengolahan sinyal error, sampai konversi balik digital ke analog dilakukan pada T_s atau waktu cuplik (sampling) – T_c tertentu.

Realisasi kontrol PID digital akan ditemukan dalam sistem berbasis mikroprosesor. Sistem kontrol PID digital bekerja dalam basis-basis waktu diskret, sehingga persamaan matematis diskret diperlukan untuk aplikasi kontrol PID ke dalam sistem mikroprosesor/mikrokontroler. Adapun persamaan algoritma kontroler PID digital seperti pada Persamaan (2.3).

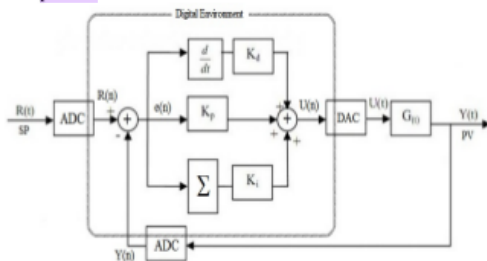
Berdasarkan teorema Nyquist, besarnya waktu cuplik yang diperlukan untuk meminimalkan hilangnya sebagian informasi yang dikandung oleh sinyal aslinya (sinyal analog) adalah :

$$F_s = 2 \cdot F_{max} \quad (2.2)$$

dimana, F_{max} adalah frekuensi maksimum perubahan sinyal input. Lebar waktu cuplik yang dipilih/digunakan pada kontrol digital harus jauh lebih kecil dari konstanta waktu proses yang dikontrol, untuk mencegah timbulnya efek aliasing.

$$U(n) = K_p \cdot e(n) + K_i \cdot T_c \cdot \sum_{k=0}^n e(k) + K_d \cdot \frac{e(n) - e(n-1)}{T_c} \quad (2.3)$$

Proses yang dikontrolnya itu sendiri bersifat kontinyu atau analog, maka di dalam modul diperlukan perangkat keras tambahan berupa ADC (Analog to Digital Converter) dan DAC (Digital to Analog Converter) yang digunakan sebagai antara muka kontroler digital dengan plant proses.



Gambar 3. Kontrol PID yang dilengkapi ADC

B. LabVIEW dan Kontrol Digital

Secara sederhana instrumentasi maya dapat diartikan sebagai suatu sistem instrumentasi berbasis komputer. Dalam setiap instrumen selalu terdapat tiga peraga (*display*) dan pemroses (*processor*). Dimana instrumentasi maya dapat didefinisikan sebagai satu layer software dan/atau hardware yang ditambahkan pada sebuah komputer sedemikian rupa sehingga komputer itu dapat berinteraksi seolah-olah sebagai instrumen tradisional.

Suatu instrumen berbasis komputer dapat juga diperuntukkan untuk menjadi Sistem Pengaturan berbasis komputer. Perbedaanannya adalah Sistem Pengaturan yang lengkap, terdapat input (sensor, transduser) dan output (aktuator) selain kontroler itu sendiri. Sehingga untuk

membangun suatu Sistem Pengaturan dari sebuah instrumen berbasis komputer perlu ditambahkan komponen input dan output.

Untuk membangun Sistem Pengaturan diperlukan dua komponen utama, yaitu:

Hardware:

- Kartu akuisisi data (DAQ-card), Serial (RS232, USB), Paralel, dsb
- Hardware akuisisi Image (vision)
- Hardware kontrol Instrumentasi

Software development tool:

- Software pemrograman (C, C++, LabVIEW, Visual BASIC, Java, Delphi, dan sebagainya)
- LabVIEW

Pada dasarnya hardware digunakan untuk mendigitasi sinyal analog seperti sinyal audio, image atau lainnya. Sedangkan software ditujukan untuk mengontrol hardware, analisa data dan presentasi hasil.

Untuk membuat program pada LabVIEW, digunakan Blok Diagram yang disebut Program VI. Blok diagram ini dijalankan berdasarkan model dataflow. Blok diagram akan mengeksekusi bergantung pada aliran data. Dimana blok diagram akan dieksekusi dari kiri ke kanan dan tidak untuk sebaliknya. Node akan mengeksekusi pada saat semua data di terminal input tersedia. Nodes akan memberikan data ke semua terminal node berikutnya dan jika telah selesai akan diberikan ke semua terminal output. Berbeda dengan Visual Basic, C++, JAVA, dan bahasa pemrograman lainnya yang berbasis text yang mengikuti model aliran kontrol.

Gambar 2.4 berikut merupakan contoh sebuah program Blok diagram pada LabVIEW.



Gambar 2.4. Tampilan Blok Diagram pada LabVIEW

III. METODE PENELITIAN

A. Tahap pra-penelitian meliputi:

1. Mengidentifikasi masalah yang dihadapi selama kegiatan Praktikum Sistem Pengaturan
2. Proses studi literatur melalui beberapa kajian penelitian sehingga diperoleh topik yang fokus untuk diteliti.
3. Proses studi kelayakan/uji coba awal dengan modul kontroler Proporsional (P) sederhana untuk mengatur putaran kecepatan Motor DC

B. Tahap Perancangan dan Pengujian

1. Merancang beberapa modul kontroler digital dengan desain tampilan HMI tiap-tiap modul kontroler. Proses pembuatan/pengerjaan.

2. Pada tahap ini hasil perancangan kontroler akan disimulasikan pada plant pada kondisi ideal dan tanpa pengaruh gangguan. Hasil simulasi tersebut kemudian dianalisis untuk diperoleh performansi sistem secara keseluruhan. Selain itu, pada tahap ini juga akan dibandingkan unjuk kerja kontroler yang didesain dengan unjuk kerja kontroler analog yang sudah ada sebelumnya.
3. Proses umpan balik dan perbaikan. Pada proses ini, saran dan masukan dari pengguna saat proses uji coba (tester) akan diperhatikan sebaik-baiknya untuk memperbaiki kesalahan-kesalahan minor (bug) dan untuk semakin meningkatkan kualitas luaran penelitian yang dihasilkan.

C. Tahap Implementasi Lapangan;

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Sensor Water Level

Agar aplikasi SCADA yang didesain dapat menampilkan penunjukan ketinggian air yang tepat, diperlukan data primer pengujian sensor level dilakukan dengan mengisi penampungan air dengan ketinggian air dimulai dari 0,05 cm hingga mencapai ketinggian 4 cm dengan tiap-tiap kenaikan sebesar 0,5 cm. Kenail 5 ini diukur dengan mistar ukur sebagai pembandingnya, seperti tampak pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Proses pengambilan data pengukuran output sensor

Hasil pengujian sensor water level yang menggambarkan hubungan antara output sensor dengan level ketinggian air dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hubungan putaran ketinggian air dengan tegangan output sensor

Ketinggian air (cm)	Tegangan Output sensor (Volt)
0,05	2,6
0,5	2,73
1	2,81
1,5	2,9
2	3,03
2,5	3,07
3	3,19
3,5	3,35
4	3,57

Untuk menghitung ketinggian air yang ada dalam penampungan air yang akan ditampilkan pada aplikasi SCADA, tegangan output sensor level perlu dikonversi

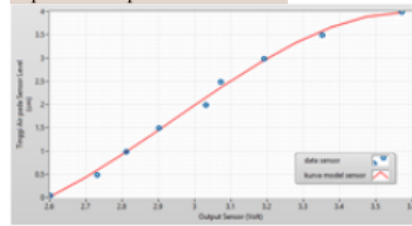
menjadi besaran jarak dengan suatu persamaan. Persamaan ini dapat diperoleh dengan melakukan regresi data hasil pengukuran yang terdapat pada Tabel 1. Dipilih regresi polinomial orde 3 dengan metode *Least Square*, dan didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$y = 96,07 - 107,02 * x + 38,21 * x^2 - 4,33 * x^3$$

dimana, y = tinggi muka air (cm)

x = output sensor level

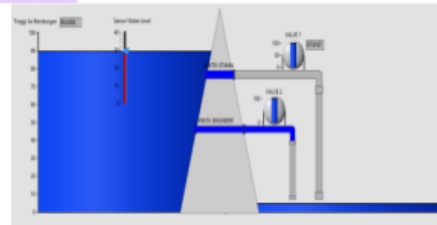
regresi polynomial orde 3 dari data pengujian diatas dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 4.2. Grafik regresi polynomial orde 3 data pengukuran output sensor

B. Tampilan Aplikasi SCADA

Tampilan aplikasi SCADA, akan dibuat bagian front panel LabVIEW, lay out desainnya bisa dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 4.3. Desain lay-out Tampilan SCADA

Tampilan Graphic User Interface (GUI) Aplikasi

Dari desain layout awal pada Gambar 4.2, dihasilkan suatu tampilan *Graphic User Interface* (GUI) aplikasi seperti terlihat pada Gambar 4.3.

Untuk tampilan input putaran motor, terdiri dari:

1. Drop box untuk memilih channel ADC untuk pembacaan nilai potensio input.
2. Indikator numerik nilai tegangan dari potensio input
3. Indikator LED dimana jika tegangan dari potensio input positif maka LED Positif akan On, sedang jika tegangan dari potensio input negatif maka LED Negatif akan On.
4. Indikator *speedometer* kecepatan motor yang diinput dalam RPM
5. Tombol STOP untuk menutup aplikasi.

Untuk tampilan kecepatan putaran motor, terdiri dari:

1. Drop box untuk memilih channel ADC untuk pembacaan output *tachogenerator*
2. Indikator numerik nilai tegangan output *tachogenerator*

- Indikator LED untuk arah putaran motor, dimana jika putaran motor searah jarum jam maka LED CW akan On, sedang jika berlawanan jarum jam LED CCW On.
- Indikator *speedometer* kecepatan putaran motor DC saat ini dalam RPM.

C. Blok Program Aplikasi

Flowchart Aplikasi

Aplikasi ini dibuat dalam bentuk modular dimana dalam sebuah program utama terdapat beberapa sub-program yang mengerjakan fungsi yang sama secara berulang. Program utama merupakan program yang pertama dieksekusi saat aplikasi dijalankan, dimana program utama ini terdiri dari sebuah *while loop* dimana didalamnya terdapat 2 buah *for-loop* dimana tiap-tiap *for-loop* akan memanggil program sub-rutin ADC dan melakukan pencuplikan sinyal analog yang masuk di *channel* ADC untuk kemudian hasilnya ditampilkan sebagai skala RPM³⁰. Adapun *flowchart* dari program utama aplikasi ini seperti pada Gambar 4.4.

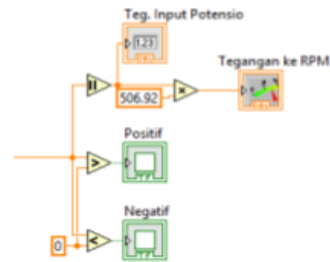


Gambar 4.4. Flowchart instrument pengukur kecepatan putaran motor DC

Terdapat 2 buah *channel* ADC yang digunakan, maka pemakaian ADC dilakukan secara *time-multiplex* dengan frekuensi cuplik per *channel* sebesar 5Hz (5 sampling per detik).

C.1. Program Sub-rutin Konversi Analog ke Diskrit.

Dalam aplikasi yang didesain ini dibutuhkan suatu program yang bertugas untuk membaca sinyal tegangan keluaran potensio input ataupun tegangan output *tachogenerator*. Program ini dibuat dalam sebuah sub-rutin dikarenakan fungsinya yang dipakai beberapa kali secara berulang.



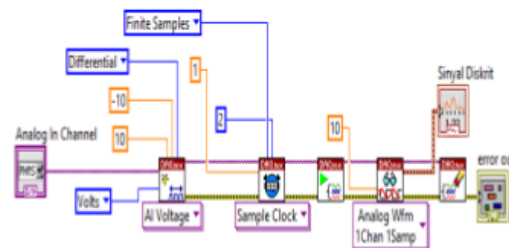
Gambar 4.5. Program blok konversi tegangan potensio input ke RPM

Dalam program sub-rutin konversi analog ke diskrit yang dibuat ada beberapa pengaturan yang dipakai, yaitu:

- Mode input berupa *differential*
- Skala output dalam skala tegangan
- Input maksimum 10 volt
- Input minimum -10 volt
- Metode sampling terbatas (*finite samples*) dimana 1 *channel* menghasilkan 1 sample setiap loop-nya

Sinyal yang akan dihasilkan merupakan sinyal diskrit dengan nilai numerik hasil cuplik dan sinyal stempel waktunya (*time stamp*) dengan periode sampling *dt* tertentu.

Sub-rutin program ini disimpan dengan nama tes2Su²⁹. Adapun program blok konversi analog ke diskrit dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6. Program blok konversi analog ke diskrit

C.2. Program Sub-rutin Konversi Diskrit ke Numerik

Sinyal diskrit yang dihasilkan dari konversi analog, maka sinyal diskrit ini akan dikonversikan menjadi sinyal numerik dengan tingkat akurasi yang diinginkan. Tingkat akurasi ini terkait dengan jumlah bilangan setelah koma yang akan diambil.

Untuk menentukan jumlah angka dibelakang koma yang diinginkan, terdapat input variabel *y* dimana untuk akurasi 2 angka dibelakang koma maka nilai *y* adalah 0,01 sedang untuk akurasi 3 angka dibelakang koma maka nilai *y* adalah 0,001.

Program blok sub-rutin konversi diskrit ke numerik dapat dilihat pada Gambar 4.7. Sub-rutin program ini kemudian disimpan dengan nama SubVI3.vi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Katsuhiko Ogata. 2000 "Teknik Kontrol Automatik" – terjemahan: Ir. Edi Laksono, Erlangga, Jakarta.
- [2] Katsuhiko Ogata. 2002. "Discrete-Time Control Systems (2nd Edition)". Prentice Hall.
- [3] Kuo, Benjamin C. 1982. "Automatic Control System". Prentice Hall.
- [4] Sastra KusumaWijaya, "Pengenalan Instrumentasi Maya", Diktat Kuliah Instrumentasi Maya, Universitas Indonesia.
- [5] Akyldiz, I.F, Sankarasubramaniam, Y, dan Cayirei, E., "A Survey on Sensor Network", *IEEE Commun Mag*, hal. 102-114, 2002.
- [6] C.Allipi, R.Camplani, C.Galperti, M.Roveri., "A Robust, Adaptive, Solar-Powered WSN Framework for Aquatic Environmental Monitoring". *IEEE Sensor Journal*, vol 11, hal 45-55 Januari 2011.

Sistem Kendali Motor Induksi Berkinerja Tinggi dengan Unit Soft Starter dan Stall Detector Berbasis SIMULINK untuk Apparatus Laboratorium Mesin Listrik

ORIGINALITY REPORT

15%

SIMILARITY INDEX

PRIMARY SOURCES

1	es.scribd.com Internet	253 words — 3%
2	Arif Hidayat, Sutan Takdir Ali Munawar, Syafruddin Syarif, Andani Achmad. "LEO antenna ground station analysis using fast fourier transform", 2017 7th International Annual Engineering Seminar (InAES), 2017 Crossref	126 words — 1%
3	www.info-elektro.com Internet	123 words — 1%
4	fr.slideshare.net Internet	105 words — 1%
5	www.scribd.com Internet	86 words — 1%
6	www.scilit.net Internet	83 words — 1%
7	eprints.akakom.ac.id Internet	66 words — 1%
8	osoyoo.com Internet	50 words — 1%
9	components101.com Internet	45 words — < 1%

10	elektro.undip.ac.id Internet	35 words — < 1%
11	jurnal.poltekba.ac.id Internet	34 words — < 1%
12	C. Orsetti, M. Muttillio, F.R. Parente, L. Pantoli, V. Stornelli, G. Ferri. "Reliable and Inexpensive Solar Irradiance Measurement System Design", <i>Procedia Engineering</i> , 2016 Crossref	30 words — < 1%
13	robot-r-us.com.sg Internet	29 words — < 1%
14	Alberto Oliveri, Luca Cassottana, Antonino Laudani, Francesco Riganti Fulginei et al. "Two FPGA-Oriented High-Speed Irradiance Virtual Sensors for Photovoltaic Plants", <i>IEEE Transactions on Industrial Informatics</i> , 2017 Crossref	22 words — < 1%
15	www.theelectronicsshop.co.uk Internet	22 words — < 1%
16	Igor Rocha de Sousa, Rogerio Vieira de Oliveira Segundo, Claudio Marques de Sa Medeiros, Elias Teodoro Silva. "Estimation of global solar irradiance with LDR sensor and artificial neural network embedded in an 8-bit microcontroller", 2018 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN), 2018 Crossref	20 words — < 1%
17	Tatsiankou, V., K. Hinzer, J. Haysom, H. Schriemer, K. Emery, and R. Beal. "Design principles and field performance of a solar spectral irradiance meter", <i>Solar Energy</i> , 2016. Crossref	20 words — < 1%
18	Shuanghua Cao. "Forecast of Solar Irradiance Using Chaos Optimization Neural Networks", 2009 Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference, 03/2009 Crossref	19 words — < 1%

19	jurnal.polindra.ac.id Internet	19 words — < 1%
20	ebalance-project.eu Internet	18 words — < 1%
21	www.cris.uns.ac.rs Internet	17 words — < 1%
22	Mayank Gupta, Atul Kumar Dubey, Virendra Kumar, Dalip Singh Mehta. "Solar concentrator based multipurpose sunlight harvesting system without tracking", OSA Continuum, 2019 Crossref	16 words — < 1%
23	pt.scribd.com Internet	15 words — < 1%
24	repository.unib.ac.id Internet	13 words — < 1%
25	esp8266.ru Internet	12 words — < 1%
26	www.logicware.com.au Internet	11 words — < 1%
27	Jarwa Prasetya Sih Handoko, Ikaputra Ikaputra. "PRINSIP DESAIN ARSITEKTUR BIOKLIMATIK PADA IKLIM TROPIS", LANGKAU BETANG: JURNAL ARSITEKTUR, 2019 Crossref	11 words — < 1%
28	eprints.undip.ac.id Internet	10 words — < 1%
29	www.raharja.ac.id Internet	9 words — < 1%
30	vdocuments.site Internet	9 words — < 1%

31	docobook.com Internet	9 words — < 1%
32	www.publish.csiro.au Internet	9 words — < 1%
33	eprints.uny.ac.id Internet	9 words — < 1%
34	issuu.com Internet	9 words — < 1%
35	etds.lib.ncku.edu.tw Internet	9 words — < 1%
36	C. O. Nwachukwu, M. I. Ajumuka, F. I. Izuegbunam. "Three phase soft starter controller scheme for asynchronous machine response to transients using MatLab/Simulink", 2017 IEEE 3rd International Conference on Electro-Technology for National Development (NIGERCON), 2017 Crossref	9 words — < 1%
37	edoc.pub Internet	9 words — < 1%
38	ar.scribd.com Internet	9 words — < 1%
39	id.123dok.com Internet	8 words — < 1%
40	kereta-api.info Internet	8 words — < 1%
41	Internet	8 words — < 1%
42	nhaien.blogspot.com Internet	8 words — < 1%
43	repository.ipb.ac.id	

8 words — < 1 %

44 [ijies.net](#)
Internet

8 words — < 1 %

45 Lun-De Liao, Chiung-Cheng Chuang, Tzong-Rong Ger, Yuhling Wang et al. "Design and Validation of a Multifunctional Android-Based Smart Home Control and Monitoring System", IEEE Access, 2019
Crossref

8 words — < 1 %

46 [digital-library.theiet.org](#)
Internet

8 words — < 1 %

47 [ee.uad.ac.id](#)
Internet

8 words — < 1 %

48 [id.scribd.com](#)
Internet

8 words — < 1 %

49 [journals.itb.ac.id](#)
Internet

8 words — < 1 %

50 [tojet.net](#)
Internet

8 words — < 1 %

51 [mako-cigre.mk](#)
Internet

7 words — < 1 %

52 [www.orenji.eu](#)
Internet

5 words — < 1 %

53 [eprints.uad.ac.id](#)
Internet

4 words — < 1 %

54 [link.springer.com](#)
Internet

4 words — < 1 %

EXCLUDE QUOTES

ON

EXCLUDE MATCHES

OFF

EXCLUDE
BIBLIOGRAPHY

ON